



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

**Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa**

TRABAJO FINAL
GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA
INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

ESTUDIO DEL DISEÑO LOW-COST DE UN
ANALITZADOR DE TERMOPLÁSTICOS BASADO EN
LA ESPECTROSCOPIA

Alumno:

Iván Martín Velasco

Director y Co-directores:

Manuel Lamich Arocas

Jordi Morato Farreras

Ramon Herrero Simon

10 / Junio / 2019

Resumen / Abstract

Este trabajo de final de grado ha sido realizado con el objetivo de localizar la opción más óptima utilizando espectroscopia para poder distinguir los diferentes materiales plásticos obtenidos como residuos, y así, poder generar múltiples propuestas lógicas y realizables, prototipos y procesos, así como base para proyectos posteriores con las necesidades y características que previamente se deseen obtener.

El método utilizado ha consistido en obtener el mayor marco teórico actual para poder utilizarlo como base para poder clasificar y seleccionar la opción más viable, a precio reducido y con mejor accesibilidad posible.

La conclusión recae en que no existe un único método para entender y diferenciar los plásticos (termoplásticos) en función de sus propiedades cuando interactúan con las ondas electromagnéticas. Sin embargo, si se prioriza el coste y la accesibilidad de los componentes, recursos y materiales, así como su eficiencia, el método más óptimo sería el de la utilización de ondas de radiación infrarrojas.

Sumario

ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE TABLAS	5
SÍMBOLOS Y ACRÓNIMOS	6
AGRADECIMIENTOS	7
PREFACIO	8
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Antecedentes	10
1.2. Justificación del proyecto	11
1.3. Objetivo Principal	12
1.4. Objetivos secundarios	12
2. LOS PROBLEMAS DE LOS PLÁSTICOS	13
2.1. Reciclado de los residuos plásticos	13
2.1.1. Reciclado de los residuos termoplásticos industriales	13
2.1.2. Reciclado de los residuos termoplásticos presentes en las basuras domésticas	14
2.1.3. ¿Qué va al Contenedor amarillo?	15
2.1.4. Qué no se debe tirar en el contenedor amarillo	15
3. ¿QUÉ ES UN PLÁSTICO?	16
3.1. Composición de las resinas plásticas. Los monómeros y las macromoléculas	17
3.1.1. Termoplásticos Amorfos	19
3.1.2. Termoplásticos Semi-Cristalinos	19
3.2. Termoplásticos	20
4. INTERACCIÓN DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO CON LA MATERIA	23
4.1. Interacción del espectro electromagnético con los Termoplásticos	26
4.1.1. Radiación Ionizante. Rayos Gamma, Rayos X y Rayos Ultravioleta lejano	26
4.1.2. Rayos Ultravioleta	26
4.1.3. Luz visible	27
4.1.4. Infrarrojo	28
4.1.5. Ondas Microondas	28
4.1.6. Ondas de Radio	28
4.2. Comportamiento de los polímeros al interactuar con las ondas electromagnéticas	29

5. CLASIFICACIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE SEPARACIÓN DE PLÁSTICOS POR ESPECTROSCOPIA EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA, SU EFICIENCIA-PRECISIÓN, SU ACCESIBILIDAD Y SU COSTE EN LA ACTUALIDAD	30
5.1. Ultravioleta Cercano.....	31
5.2. Exclusión por tamaño, color y/o forma utilizando luz visible.....	31
5.2.1. Posible presupuesto.....	32
5.3. Espectroscopia Infrarroja	34
5.3.1. Radiación Infrarroja cercana	34
5.3.2. Radiación Infrarroja media.....	35
6. PROTOTIPO LOW-COST PARA SEPARAR TERMOPLÁSTICOS UTILIZANDO ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS INFRARROJAS	37
6.1. Metodología	39
7. PLANIFICACIÓN	41
8. PRESUPUESTO	43
9. CONCLUSIONES	44
10. BIBLIOGRAFÍA	45
10.1. Bibliografía complementaria y otras fuentes de información de interés	48
11. ANEXOS	50
ANEXO A DATASHEET	50
ANEXO B AUTOINFORME	57
ANEXO C DECLARACIÓN DE HONOR	58

Índice de figuras

Figura 1	Clasificación general de los plásticos	16
Figura 2	Representación de los Monómeros plásticos	17
Figura 3	Conversión entre longitud de onda, frecuencia y energía del espectro electromagnético	24
Figura 4	Representación de las ondas electromagnéticas centrandose en el rango de la luz visible	27
Figura 5	Representación de la emisión de enrgia de unas fuentes de luz de bajo y alto coste	35
Figura 6	Representación del Prototipo visto de perfil	37
Figura 7	Diagrama de Gantt	42

Índice de tablas

Tabla 1 Estructura de las macromoléculas de los plásticos	18
Tabla 2 Clasificación de los Termoplásticos	20
Tabla 3 Interacción entre las ondas electromagnéticas y los termoplásticos	29
Tabla 4 Base de datos manual o automática	32
Tabla 5 Posible presupuesto para un proceso que utilice luz visible y una base de datos manual	32
Tabla 6 Posible presupuesto para un proceso que utilice luz visible y una base de datos automatizada	32
Tabla 7 Emisores de bajo coste contra Emisores de alto coste	34
Tabla 8 Elementos del prototipo	38
Tabla 9 Valor de las resistencias	38
Tabla 10 Tabla de planificación	41
Tabla 11 Presupuesto	43

Símbolos y acrónimos

nm	Nanómetros
μm	Micrómetros
PEAD o HDPE	Polietileno de alta densidad
PEBD o LDPE	Polietileno de baja densidad
PET o PETE	Polietileno de tereftalato
PVC	Policloruro de vinilo
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
EMR	Radiación electromagnética
UV	Ultravioleta
IR	Infrarrojos
NIR	Infrarrojos cercanos
H	Hidrogeno
C	Carbono
c	Velocidad de la luz
v	Frecuencia
E	Energía
h	Constante de Planck
eV	ElectronVolt

Agradecimientos

Quiero agradecer a todos los profesores que aun habiendo conocido el gran caos que habita en mi interior, mis grandes sueños, oscuros y macabros pensamientos, aun y con todo... han hecho demasiado por mí, en especial al profesor **Jordi Morato** por hacerme querer hacer un bien a nuestro planeta, al profesor **Ramón Herrero** por a apoyarme en mis peores crisis existenciales, enfrentándome ante todo el conocimiento, entendimiento y teorías físicas de este proyecto y al profesor **Manuel Lamich**, por hacer que no tirara la toalla.

A toda mi familia, pero sobre todo a mis padres **Ana María Velasco** y **Manuel Martín Zurera** por todo el esfuerzo, paciencia y soporte ante mis exigencias y alocadas demandas para conseguir realizar experimentos, a mi prima **Ainoa** por concederme parte de su tiempo para traducir y corregir la forma en como expreso las ideas y transformar estas inteligiblemente, a mi abuelo **José** por permitirme usar su sala de estar como mi laboratorio personal, pero ante todo y ante todos a mi **Karina Marisol Martínez López**, “Eres la luz que me ha guiado hasta donde estoy hoy”. Gracias.

Prefacio

Plásticos: nuestra vida cotidiana.

Actualmente tenemos acceso a la mayor cantidad de información sobre todos los temas científicos y no científicos gracias a las nuevas tecnologías e Internet y a la vez la máxima velocidad para actualizar la información de todos los estudios, experimentos y conocimientos que ocurren y aun así, ¿qué es lo que se sabe de los plásticos?

Generalmente se sabe que existen diferentes tipos de plásticos, pero no cuales ni su uso, también se sabe que existen grandes cantidades de residuos plásticos en el planeta y difusamente se sabe que los plásticos son un tipo de material extraído de componentes naturales como por ejemplo del petróleo.

Diariamente entramos en contacto con los plásticos y actualmente, forman parte indispensable de nuestra vida cotidiana pero la cantidad de residuos plásticos que existen en el planeta y no son reciclados, hablando en términos relativos, utilizando una escala de toneladas es insuficiente.

A día de hoy el reciclaje y la reutilización están ganando una mayor importancia.

Se están buscando sustitutos, prohibiendo la utilización de plásticos en aplicaciones de usar/tirar y mejorando y optimizando los canales para el reciclaje.

1. Introducción

El presente proyecto fue planteado en conjunto con La Fábrica del Sol, siendo este el equipamiento de **“Educación ambiental”** promovido por el **“Área de Ecología, Urbanismo y Movilidad del Ayuntamiento” de Barcelona**.

Un problema fundamental es el tema relacionado con el coste monetario que supone la reducción de residuos plásticos producidos por la ciudad.

Poder identificar y separar correctamente estos residuos plásticos supone una de las principales dificultades para poder reciclar los plásticos y poder darles un uso nuevo.

1.1. Antecedentes

El plástico es uno de los tipos de materiales más utilizados en la tecnología moderna principalmente debido a su polivalencia, practicidad, versatilidad, capacidad de ser moldeado además de ofrecer un conjunto de características ideales para su uso de estructuras, recipientes y envases.

Sin embargo, una mala separación de los plásticos puede tener consecuencias catastróficas, debido desafortunadamente a que los diferentes tipos de plásticos en su mayoría son incompatibles entre sí.

La contaminación en el reciclaje de un tipo de plástico mezclándolo con otros tipos puede causar problemas de procesamiento.

Un ejemplo de mezcla errónea podría ser introducir cloruro de polivinilo (PVC) dentro del proceso de reciclaje del Tereftalato de polietileno (PET) haciendo que todo el lote de la resina se volviera inutilizable [1-4].

La clasificación de las resinas plásticas se realiza generalmente centrándose en la separación de los cinco tipos principales: *Tereftalato de polietileno* (PET), *Polietileno* (HDPE y LDPE), *Cloruro de polivinilo* (PVC), *Polipropileno* (PP) y el *Poliestireno* (PS).

Los plásticos mencionados tienen la característica de que cuando son sometidos a calor, se reblandecen, fluyen y por lo tanto permiten producir más productos plásticos.

Todos los plásticos mencionados anteriormente comparten la característica de reblandecerse y fluir cuando son sometidos a altas temperaturas, haciendo posible la producción de más productos plásticos.

1.2. Justificación del proyecto

Los materiales tales como algunos metales o como el vidrio pueden ser separados con cierta facilidad, sin embargo, los plásticos presentan una complejidad para ser separados sin la destrucción del material en cuestión.

Dejando de lado los métodos de detección y separación de plástico utilizando profesionales cualificados que separen los diferentes restos y componentes plásticos, los métodos actuales de separación constan en su gran mayoría de métodos físicos, como por ejemplo la identificación por densidades, identificación por características térmicas o de fusión o utilizando la identificación por espectroscópica. Sin embargo, hay que tener en cuenta que todos los métodos, en mayor o menor medida, suponen un alto coste.

En la actualidad los plásticos son producidos y utilizados en países del 'primer mundo' pero la mayoría de los residuos producidos por estos, entendiéndolo como residuo a todos los componentes plásticos después de su vida útil, se encuentran en vertederos generalmente de países subdesarrollados o mayoritariamente en el mar.

Los polímeros como el PET y el HDPE son reciclados en la mayoría de los países realizando procesos de separación en general manual o apoyados de instrumentos que emplean la tecnología de espectrometría, lo que hace que este proceso de separación de los polímeros sea bastante costoso y el reciclaje de los polímeros una labor poco o nada rentable.[5]

Existe pues una necesidad imperiosa de estudiar y conseguir reproducir los procesos ya existentes de identificación de plásticos como los de las industrias, laboratorios científicos y grandes instituciones a un precio reducido y asequible, pudiendo así comenzar con el proceso de reciclaje del plástico en cualquier lugar que se requiera utilizando el presupuesto mínimo necesario.

1.3. Objetivo Principal

Poder averiguar si existe un método o vía que permita diferenciar los plásticos reciclables utilizando ondas electromagnéticas, priorizando los aspectos económicos, ambientales y de seguridad tanto para los propios plásticos, para las personas y para el medio ambiente.

1.4. Objetivos secundarios

Poder generar múltiples procesos, propuestas lógicas y realizables, nuevos proyectos y prototipos de bajo coste que permitan separar los plásticos reciclables de forma viable y asequible.

2. Los Problemas de los plásticos

Los residuos plásticos no son, por lo general, degradables.

Los plásticos tienen, en relación a su peso, un gran volumen, que no puede comprimirse fácilmente, por lo que necesitan de mucho espacio una vez se hallan en su etapa como residuos. “residual”

Los plásticos no pueden ser reciclados directamente ya que suelen estar mezclados y/o contaminados, por lo que suele optarse por incinerar el residuo al completo. Además los propios polímeros pueden contener sustancias intrínsecas problemáticas o incluso tóxicas (como por ejemplo el PVC) y pueden presentar un peligro si se queman en plantas incineradoras de residuos.

Por esta misma razón, suponen un claro peligro para la flora y la fauna.[6-9]

Y, por otro lado, cabe destacar que la cantidad de residuos generados por individuo en la sociedad actual está aumentando a una escala exponencial.

2.1. Reciclado de los residuos plásticos

El principal problema recae en la correcta identificación de los distintos polímeros, ya que una vez separados correctamente, el reciclado de los materiales plásticos no conlleva una excesiva complejidad.

2.1.1. Reciclado de los residuos termoplásticos industriales

El reciclado de los residuos termoplásticos es el que está más ampliamente desarrollado. Dicho proceso tiene lugar en los propios lugares de producción o a través de empresas subcontratadas, especializadas en la trituración.

Como los residuos se recogen ya clasificados y sin opción a que exista una contaminación, solo se es necesaria una trituración para obtener material nuevo para ser reciclado.

La mayoría de los residuos industriales se obtiene en forma de mezcla compleja de varios materiales; esta debe separarse a mano o automáticamente para que puedan reunirse cantidades suficientes de plástico de una cierta pureza.

El reciclado mixto de termoplásticos procedente de sectores industriales se realiza cuando se dan proporciones elevadas de más de 50% de un plástico en las mezclas. [10,11].

2.1.2. Reciclado de los residuos termoplásticos presentes en las basuras domésticas

En cuanto al reciclaje doméstico, todo lo que se tira al contenedor amarillo va a parar a las instalaciones de separación de materiales.

Una vez allí, el primer proceso que se lleva a cabo consiste en pesar el contenido de los residuos que entran, y así evitar que se queden restos por el camino. En esta primera fase preliminar también se suelen hacer pasar los envases por un proceso en el que se ensartan y agujerean.

La primera zona a la que se llega en las instalaciones es la zona de descarga: en ella se depositan los montones de residuos después de ser pesados.

En las zonas de descarga, unas excavadoras retiran todo lo que no sea envase, primero por cuestiones medioambientales, y luego para evitar que la máquina a la que van posteriormente se bloquee. El siguiente paso del proceso es el de separación, pues cada tipo de plástico tiene un tratamiento diferente. Dicha separación se realiza a partir de un alimentador con unas cintas por las que circulan todos los elementos. Al final de la misma se colocan unos contenedores y es entonces cuando entra en juego el trabajo humano.

A pesar de que haya partes automatizadas, en la última selección se suele realizar un filtrado manual para tener una mejor precisión y obtener mejores resultados.

Una vez se cumple con estas dos etapas, los materiales son separados de nuevo pero por tamaños y otras propiedades comunes. [12-14]

2.1.3. ¿Qué va al Contenedor amarillo?

La acción ciudadana en la correcta clasificación de la basura es fundamental. El reciclaje parte de las casas de todos los ciudadanos, y hay algunas pautas que se deben seguir en el momento de elegir qué residuos se deben tirar al contenedor amarillo. [8,9,10]

El error más común es pensar que el contenedor amarillo es para tirar plásticos, así que se suele desechar en él cualquier cosa de plástico que ya no sirva, y eso es un error: el contenedor amarillo está destinado a albergar únicamente envases.

Los materiales que van dentro del contenedor amarillo son los que son utilizados en la creación de envases y bricks tales como:

- Botellas de plástico y envases de plástico.
- Bandejas de plástico de alimentos.
- Film de plástico.
- Latas y envases metálicos de refrescos, conservas, alimentos precocinados, aerosoles...

Además es recomendable dejar los envases abiertos, lo más vacíos posible y sin etiquetas de plástico o papel adjunto, al hacerlo se ayudará en gran medida al proceso de clasificación.

2.1.4. Qué no se debe tirar en el contenedor amarillo

- Vidrio, papel y cartón, materia orgánica o pilas.
- Productos sanitarios como jeringuillas, pañales, guantes de goma...
- Juguetes de plástico.
- Pequeños electrodomésticos, teléfonos móviles, cintas de video, disquetes informáticos...
- Lentes de contacto, gafas...
- Ropa y productos textiles.
- Envases que hayan contenido productos tóxicos o peligrosos como aceites de motor, pinturas, medicamentos...
- Biberones.
- Perchas.
- Utensilios de cocina obsoletos.
- Cajas de fruta, cubos de plástico...

3. ¿Qué es un Plástico?

En cuanto a su terminología, la palabra 'plástico' no se asocia a un único material.

Se debe entender como un término general que describe una gran variedad de sustancias, las cuales se diferencian entre sí por ciertas características, con diferentes estructuras y propiedades. [18]

A pesar de todo, existe un factor que todos los plásticos tienen en común: se originan utilizando cadenas moleculares atómicas largas, denominadas macromoléculas. Estructuralmente hablando estas cadenas se enlazan, compactan y colocan de múltiples maneras haciendo que se entrelacen, se retengan y sujeten entre sí.

Las macromoléculas siguen 'un patrón' o un conjunto estructural más sencillo que se repite a lo largo de toda la cadena macromolecular, denominados monómeros, los cuales van reiterando esta estructura básica. [19]

Cómo se clasifican los plásticos:

Se distinguen tres grandes grupos de materiales plásticos, los cuales se ven reflejados en la figura 1. termoplásticos, termoestables y elastómeros.

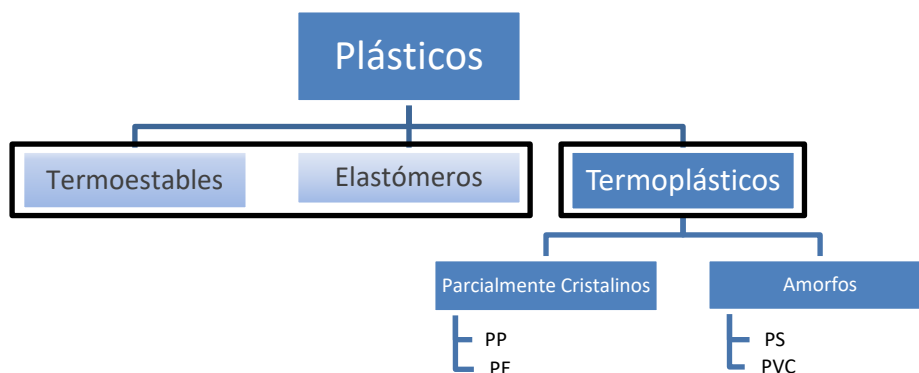


Figura 1 Clasificación general de los plásticos

Fuente: Libro Introducción a la tecnología de los plásticos.

3.1. Composición de las resinas plásticas. Los monómeros y las macromoléculas

Las materias primas de los plásticos por lo general son sustancias naturales, como el carbón, el petróleo, el gas natural o la celulosa, aunque también se pueden crear a partir de materiales sintéticos.

Empezando por los átomos, los plásticos están compuestos principalmente por carbono (C) e hidrogeno (H) que enlazados generalmente por enlaces covalentes crearán la sustancia de partida de los plásticos: los denominados monómeros. En la figura 2 se puede observar la representación monomérica de los polímeros termoplásticos.

Utilizando el proceso químico de polimerización los monómeros se enlazan entre sí conformando largas macromoléculas.[20]

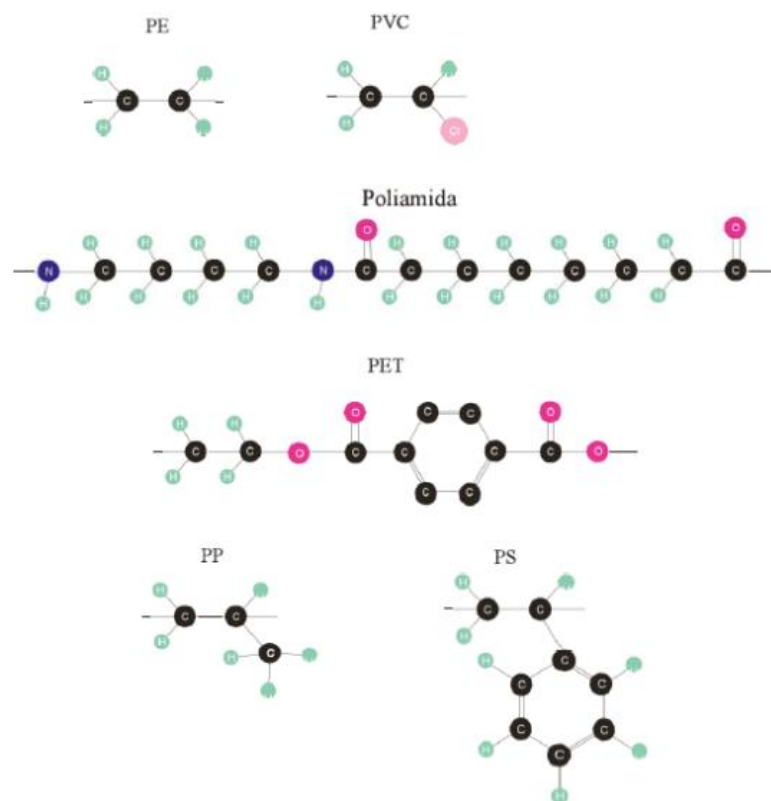


Figura 2 Representación de los Monómeros plásticos

Fuente: <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/qaplicada/polimeros.pdf> .

En el caso más simple, las macromoléculas se forman a partir de muchos monómeros iguales como una sucesión de caracteres que se repiten.

El concepto macromolécula deriva de la cantidad de las moléculas, ya que éstas pueden llegar a constar de miles de moléculas de monómeros.

Las macromoléculas, a su vez, se pueden entrelazar de múltiples maneras entre ellas utilizando fuerzas intermoleculares y tienen por efecto el que dos moléculas se atraigan con una cierta intensidad y no puedan separarse la una de la otra [21].

La separación de las diferentes resinas en función de su estructura molecular se organiza como se describe en la siguiente tabla 1.

Termoplásticos	Termoestables	Elastómeros
Debido a su estructura molecular las cadenas están dispuestas libremente sin entrelazarse. Las cadenas macromoleculares se acomodan y enlazan entre sí utilizando las fuerzas van der Waals.	Sus macromoléculas se entrecruzan formando una red de malla cerrada.	Sus macromoléculas se ordenan en forma de red de malla con pocos enlaces.
Gracias a esta disposición, se reblandecen con el calor adquiriendo la forma deseada, la cual se conserva al enfriarse.	Esta disposición no permite nuevos cambios de forma mediante calor o presión: solo se pueden deformar una vez.	Esta disposición permite obtener plásticos de gran elasticidad que recuperan su forma y dimensiones cuando deja de actuar sobre ellos una fuerza.

Tabla 1 Estructura de las macromoléculas de los plásticos

Los plásticos termoplásticos debido a que pueden recalentarse y moldearse, pueden obtener múltiples usos de vidas nuevas llegando hasta poder ser refundido un mismo polímero de cinco a siete veces sin perder del todo sus propiedades físicas y químicas. Gracias a ellos el reciclado de residuos plásticos sea una opción viable en la actualidad.

Los polímeros que no son termoplásticos no van a estar contemplados para este estudio.

3.1.1. Termoplásticos Amorfos

Los termoplásticos amorfos presentan cadenas moleculares fuertemente ramificadas, con cadenas laterales largas y a causa de su construcción irregular, no pueden adoptar un estado de empaquetamiento compacto. Debido a eso adquieren una estructura amorfa.

Dado que los termoplásticos amorfos son transparentes en estado natural o 'no coloreado', reciben frecuentemente el nombre de cristales sintéticos u orgánicos, mayoritariamente.

3.1.2. Termoplásticos Semi-Cristalinos

Los termoplásticos parcialmente cristalinos están estructurados con regiones ordenadas y otras desordenadas debido a que si las macromoléculas presentan poca ramificación, es posible que determinadas regiones de las cadenas moleculares se ordenen y se dispongan en forma compacta unas al lado de otras. Estas regiones ordenadas adquieren el nombre de "regiones cristalinas", sin embargo, las propias longitudes de las cadenas impiden que se genere una cristalización completa y debido a eso, siempre queda desordenada y amorfa una parte de la molécula.

Los polímeros parcialmente cristalinos intentan ordenar sus macromoléculas. A pesar de ello, pocos logran hacerlo totalmente dado que necesitan un peso molecular alto, es decir, cadenas macromoleculares de un tamaño mayor que el que suelen tener los termoplásticos. Es por eso que la mayoría de cadenas macromoleculares se extienden sólo una corta distancia para luego plegarse formando sobre sí mismos unas regiones ordenadas o láminas, denominadas "lamelas".

Las lamelas surgen a partir de un núcleo y se suelen empaquetar en todas direcciones, es decir, en las tres dimensiones intentado compactarse conformando esferas llamadas esferulitas. En una porción de polímero cristalino pueden existir varias millones de esferulitas. No obstante, entre medio de las lamelas y entre esferulitas se encuentran regiones no ordenadas o amorfas. [22]

3.2. Termoplásticos

Como se aprecia en la tabla 2 “Clasificación de los Termoplásticos” (nomenclatura, acrónimos y símbolo), se puede ver cómo la clasificación mediante los símbolos desarrollados en 1988 por la Sociedad de la Industria de Plásticos (SPI siglas en inglés), identifican el contenido de resina. Durante más de 20 años, el sistema del Código de Identificación de Resinas de la SPI ha facilitado el reciclaje de los plásticos después de ser utilizados por el consumidor.








Nomenclatura	Acrónimos	Símbolos
Polietileno Tereftalato	PET	
Polietileno de alta densidad	PEAD o (HDPE)	
Polietileno de baja densidad	PEBD o (LDPE)	
Policloruro de vinilo	PVC	
Polipropileno	PP	
Poliestireno	PS	
Otros.	-	

Tabla 2 Clasificación de los Termoplásticos

Tereftalato de Polietileno (PET)

El PET es un tipo de poliéster termoplástico lineal con una estructura molecular que le permite cristalizar.

El PET posee una resistencia química y propiedades de barrera, debido a eso es utilizado para el envasado de bebidas carbónicas.

Polietileno de baja y alta densidad (LDPE y HDPE)

Las propiedades del polietileno (PE) vienen influidas por el grado de ramificación de la cadena dentro de las moléculas. El LDPE se produce por medio de la polimerización del etileno bajo unas condiciones de presión y temperatura elevadas. El HDPE se produce haciendo uso de catalizadores, siendo el polímero resultante más lineal y cristalino que el LDPE.

El PE tiene una amplia gama de usos debido a su reducido coste, su facilidad para el procesado y su alta resistencia al impacto, a los productos químicos y a la electricidad.

El HDPE es reciclado por medio de la granulación. Los contaminantes son eliminados por lavado y los diferentes polímeros de HDPE son separados de los otros plásticos por medio de técnicas de flotación. El LDPE no es tan ampliamente reciclado: el principal producto reciclable es el film de envolver extensible.

Policloruro de vinilo (PVC)

El PVC es el más ampliamente utilizado de todos los polímeros vinílicos.

El PVC más puro se produce por polimerización en masa en una atmósfera inerte.

El PVC es por lo general el menos estable tanto químico como térmicamente y bajo la exposición a la luz. Tiene tendencia a volverse frágil a bajas temperaturas y a degradarse a temperaturas elevadas. Al igual que en el caso del PET, las propiedades del PVC vienen determinadas por el grado de ramificación molecular.

El uso principal del PVC rígido es para tubos, accesorios y marcos de ventana o de puerta.

El PVC tiene buenas propiedades de aislamiento y puede hacerse flexible. En esta forma se utiliza para conductores eléctricos. Otras aplicaciones incluyen la indumentaria, el aislamiento térmico (espuma de PVC), piezas de automóvil, recubrimientos para suelos, adhesivos y revestimientos.

El reciclaje del PVC no está tan extendido como el de otros polímeros, debido en parte a que la mayoría de sus aplicaciones son de larga vida útil.

El PVC puede ser reciclado por trituración o bien por reciclaje químico para la recuperación del cloro (que puede luego ser utilizado en la producción de su monómero).

Polipropileno (PP)

El PP tiene una resistencia al impacto inferior a la del PE, pero su temperatura de trabajo es superior y también lo es su resistencia a la tracción. El PP posee unas excelentes propiedades de aislamiento, pero su utilización más extendida es bajo la forma de fibras y filamentos producidos por extrusión.

Los productos moldeados por inyección constituyen otro grupo de productos importante, en especial para su uso como suministros médicos que requieran ser esterilizados por medio del calor o de la irradiación.

El proceso de reciclaje principal es a través de la re granulación

Poliestireno (PS)

El PS es un plástico duro, el cual se produce usualmente por polimerización de monómeros de estireno. El PS de peso molecular elevado se utiliza para revestimientos, mientras que las clases de PS de peso molecular más bajo son utilizadas para el moldeo por inyección. Los principales puntos débiles del PS es que se trata de un plástico quebradizo, inestable cuando está expuesto a la luz ultravioleta (UV) y es inflamable.

El reciclaje del PS tiene tendencia a ser más limitado que el de otras resinas para artículos de uso corriente, a causa de las dificultades que plantean la recogida y el procesado. [23]

4. Interacción del espectro electromagnético con la materia

La radiación de tipo electromagnético puede manifestarse de múltiples formas como a través de ondas de radio, microondas, radiación infrarroja, luz visible, radiación ultravioleta, rayos X o rayos gamma. [24]

Todas las radiaciones electromagnéticas se transmiten a la velocidad de la luz c (en el vacío) y en forma de ondas tal que:

$$c = \lambda * \nu \quad (1)$$

$$c = 299792458 [\text{m/s}] \approx 300.000 [\text{Km/s}]$$

$$\lambda = \text{Longitud de onda} [\text{m}]$$

$$\nu = \text{frecuencia} [\text{Hz}]$$

Desde un punto de vista teórico, el espectro electromagnético es infinito y continuo.

La energía electromagnética en una particular longitud de onda λ (en el vacío) tiene una frecuencia f asociada y una energía de fotón E . Por tanto, el espectro electromagnético puede ser expresado igualmente en cualquiera de esos términos.[25]

$$\Delta E = h * \nu \quad (2)$$

$$h = 4,135667731(43) * 10^{-15} [\text{eV} \times \text{s}]$$

En la figura 3 se puede apreciar la relación entre longitud de onda, frecuencia y energía que existe entre las ondas electromagnéticas

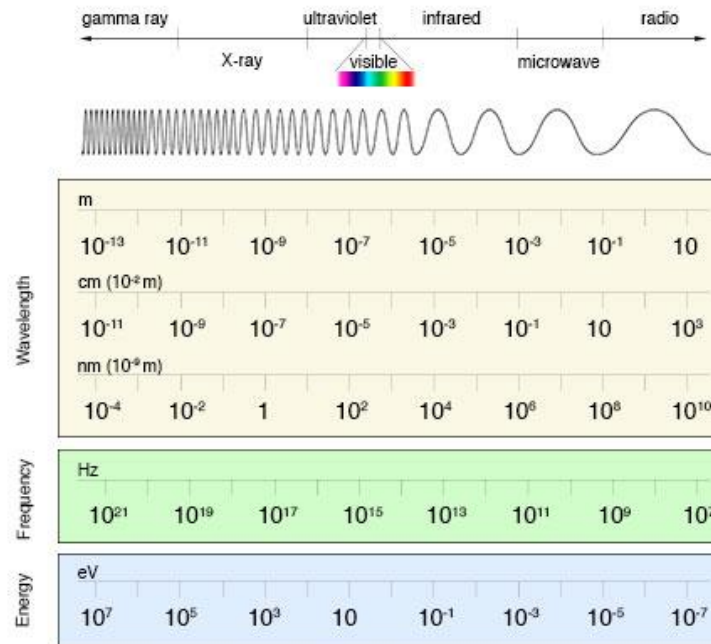


Figura 3 Conversión entre longitud de onda, frecuencia y energía del espectro electromagnético

Fuente: NASA's Imagine the Universe

Desde el punto de vista de las propiedades ópticas más destacadas de los materiales plásticos, las relacionadas con su capacidad de transmitir la luz, tomar color y su brillo son las más destacables y los fenómenos principales que lo permiten son:

- La transmisión-refracción.
- Reflexión.
- Absorción.

Para cada una se define un coeficiente que nos da el porcentaje correspondiente en tanto por uno. Son el factor de transmisión (τ), de reflexión (ρ) y el de absorción (α) que cumplen:

(3)

$$\tau + \rho + \alpha = 1$$

Para cuerpos opacos la transmitancia (τ) es igual a cero.

Para un material ideal, la suma de transmitancia y reflectancia sería la unidad.

Para materiales reales, la diferencia entre la unidad y la suma de transmitancia y reflectancia representa la luz absorbida.

La transmitancia (T) es la relación entre la luz transmitida (I) y la luz incidente (I_0).

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (4)$$

La reflectancia, la relación entre la luz reflejada y la luz incidente, es la medida complementaria.

Se denomina “absorbancia” al logaritmo con signo cambiado de la transmitancia.

$$A = -\text{Log} \frac{I}{I_0} \quad (5)$$

“Se dice que una muestra es transparente si es posible la percepción de objetos a través suyo y se define como la fracción de luz que es transmitida con una desviación menor de $0,1^\circ$ respecto al rayo incidente normal a la superficie.” [26]

La transparencia de un material depende de la suavidad de la superficie y de la estructura fundamental.

Un material con buena transparencia tendrá una alta transmitancia y poca turbidez.

Cuanto más corta sea la longitud de onda, más alta será la frecuencia de la misma.

A su vez, las ondas electromagnéticas de alta frecuencia tienen longitudes de ondas cortas pero son las más energéticas, mientras que las ondas de baja frecuencia tienen grandes longitudes de onda y de poca energía.

La energía que le llega a la materia puede ser reflejada, absorbida o transmitida.

4.1. Interacción del espectro electromagnético con los Termoplásticos.

4.1.1. Radiación Ionizante. Rayos Gamma, Rayos X y Rayos Ultravioleta lejano

“La ionización es el efecto que se produce al expulsar electrones de un átomo o moléculas atómicas dejando a estas como cargas positivas”.

“Los mecanismos de la interacción de la radiación ionizante en forma de rayos X y rayos gamma, da lugar al efecto fotoeléctrico y la dispersión de Compton, y a suficientes altas energías, producción de pares de electrones-positrones”.

Aunque la energía de ionización precisa difiere con el átomo o molécula implicado, una afirmación general es la de considerar una radiación ionizante como la de cualquier radiación con energía cuántica por encima de unos pocos electrón voltios. El umbral para la ionización se encuentra en algún lugar de la región ultravioleta del espectro electromagnético, por lo que todos los rayos X y rayos gamma son radiación ionizante. Todas las formas de radiación nuclear son también radiación ionizante a causa de sus extremadamente altas energías.” [27].

La radiación ionizante interactúa a un nivel cuántico con la materia, es decir que la energía que actúa es capaz de influenciar en los componentes internos de los átomos, desestabilizando o incluso destruyendo los enlaces superiores que componen la materia.

4.1.2. Rayos Ultravioleta

La energía de las ondas de luz UV está en el intervalo de 3,3 eV a 124eV.

El ultravioleta cercano es absorbido fuertemente en las capas superficiales de la materia por transiciones electrónicas. A medida que se vaya a mayores energías, se alcanzan las energías de ionización de muchas moléculas y tienen lugar los procesos de fotoionización más peligrosos.

La radiación ultravioleta interactúa a un nivel estructural orgánico, por lo que diversas macromoléculas pueden llegar a descomponerse.

En términos estructurales: al incidir radiación ultravioleta en los polímeros termoplásticos comienza a producirse una degradación polimérica.

El PET, el PS y el PP son sensibles a la radiación UV.

4.1.3. Luz visible

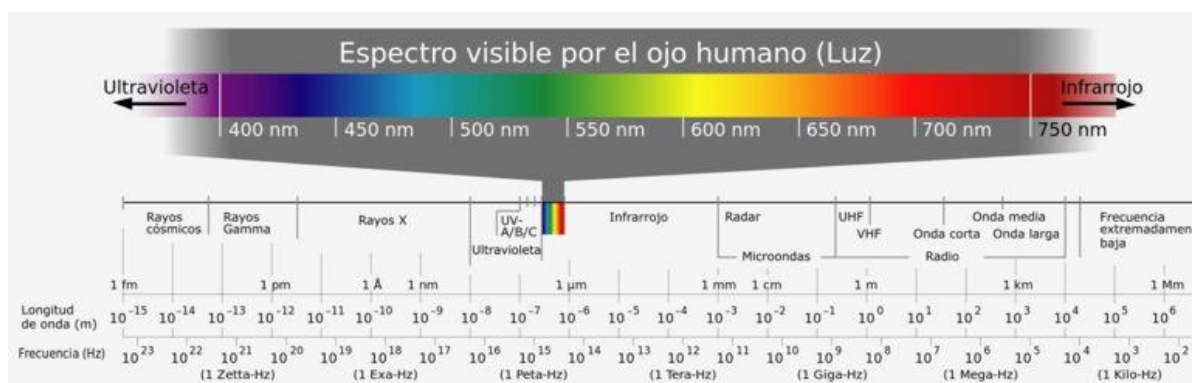


Figura 4 Representación de las ondas electromagnéticas centrándose en el rango de la luz visible.

Fuente: HORST FRANK/WIKIMEDIA COMMONS

La energía de las ondas de luz visible está en el intervalo de 2 eV a 3,3 eV.

El mecanismo principal en la absorción de fotones de luz visible es la elevación de electrones a niveles de energía más altos. Hay muchos estados disponibles, por lo que la luz visible es absorbida con gran fuerza.

Sin embargo, existe un gradiente donde el extremo rojo del espectro no se absorbe tan fuertemente como el extremo violeta.

Aunque la exposición a la luz visible produce calentamiento, no origina la ionización.

Por causa de la dispersión de la luz en las fronteras entre regiones amorfas y cristalinas del plástico, el PP o el PE son ejemplos que presentan (dentro del rango visible) un aspecto opaco blanquecino.

4.1.4. Infrarrojo

La energía cuántica de los fotones infrarrojos está en el intervalo de 0,001 a 1,7 eV, que es el intervalo de energías en el que se generan vibraciones moleculares. El infrarrojo es absorbido más fuertemente que las microondas, pero con menos fuerza que la luz visible. El resultado de la absorción de infrarrojos es el calentamiento de los tejidos, ya que aumenta la actividad de vibración molecular.

La radiación infrarroja interactúa a un nivel de óptimo en absorción suficiente como para hacer vibrar y aumentar, consecuentemente, la temperatura de la materia.

4.1.5. Ondas Microondas

La energía de las ondas microondas está en el intervalo de 1,24 meV a 1 μ eV y por ello tienen un rango energético suficiente como para que cuando se interactúa con la materia, ciertas moléculas o estados químicos y enlaces intermoleculares puedan absorber y/o emitir energía generando fuerzas de rotación y torsión molecular suficiente como para desestabilizar los propios enlaces estructurales.

La interacción de las microondas con la materia distinta de los conductores metálicos, será la rotación de moléculas y la producción de calor como resultado de ese movimiento molecular.

4.1.6. Ondas de Radio

La energía de las ondas microondas está en el intervalo de 1 μ eV a 12 feV y debido a sus propiedades, se puede afirmar que su interacción con los polímeros termoplásticos es de transparencia, es decir que al emitir este tipo de ondas hacia los plásticos, estas no interactuarán y, si lo hicieran, dado que no presentan energía suficiente sería difícilmente apreciable.

4.2. Comportamiento de los polímeros al interactuar con las ondas electromagnéticas

Como puede verse en la tabla 3, las ondas de Radio tratan a los polímeros como a entidades transparentes, las ondas Microondas, en especial las de alta potencia, si suponen un potencial peligro para la estructura molecular, ya que hacen vibrar y hasta rotar la materia, la radiación infrarroja es absorbida y al vibrar las moléculas, supone un aumento en la temperatura del cuerpo. Siempre que no haga superar la temperatura de transición vítrea, el material seguirá en buenas condiciones para conservar sus características. La luz visible es fuertemente absorbida y desde la luz ultravioleta hasta los demás rayos de onda corta suponen un peligro para las energías atómicas de los diferentes termoplásticos.[28-33]

		Radio	Microondas	Infrarrojo	Luz visible	Ultravioleta	Rayos X y Gamma
PET	1						
HDPE	2						
PVC	3						
LDPE	4						
PP	5						
PS	6						
OTHERS	7						
		Trasparencia					
		Peligro de ionización o degradación del material					
		No es recomendable la interacción entre onda y material					
		La interacción no altera irreversiblemente las propiedades físicas ni químicas.					

Tabla 3 Interacción entre las ondas electromagnéticas y los termoplásticos

Debido a que uno de los objetivos principales de este estudio es poder reciclar los polímeros de una forma asequible, si el método de análisis altera, degrada o supone un potencial peligro para las muestras y/o las personas, esas frecuencias serán descartadas.

Por lo tanto, las longitudes de onda óptimas que deberán interactuar con los termoplásticos oscilarán entre Ultravioleta cercano, Luz visible e Infrarrojo.

5. Clasificación de los diferentes métodos de separación de plásticos por espectroscopia en función de la longitud de onda, su eficiencia-precisión, su accesibilidad y su coste en la actualidad

En la actualidad se han desarrollado muchos métodos destinados a la separación de los diferentes plásticos. La opción más extendida es la separación automática y manual de residuos utilizando cámaras detectoras de color y opacidad para detectar plásticos e incluso cámaras térmicas junto con personal cualificado de las plantas de separación. En estas, los operarios gracias a su experiencia son capaces de separar los materiales simplemente observándolos.

Por otro lado, la espectroscopia infrarroja permite identificar los diferentes plásticos analizando la luz reflejada por la superficie del material cuando este es sometido a la radiación infrarroja o por absorción si es con espectroscopia infrarroja media, debido a que cada material emite una serie de radiaciones características en función de su propia estructura molecular.

Las técnicas anteriores se pueden utilizar para separar PET, PVC, HDPE, LDPE y PP con precisión, pero tienen el inconveniente de que el equipo tiende a ser de coste elevado.[34]

5.1. Ultravioleta Cercano

De entre 295 a 400 nm de longitud de onda.

Volviendo al tema de la ionización de los átomos, los polímeros termoplásticos tienden a degradarse al ser sometidos a interactuar con ondas de longitud de onda reducida, eso conlleva para las empresas de alimentación, consumo y envasado de productos alimenticios un potencial peligro así como para los consumidores.

Sin embargo, a causa de que no existe una regulación precisa más que para prevenir la toxicidad para el consumo, los diversos métodos y componentes aditivos para permitir que los polímeros termoplásticos adquieran características resistentes a la degradación dificultan en gran medida una vía precisa de separación utilizando métodos que impliquen la utilización de ondas ultravioletas utilizando componentes de bajo coste.

5.2. Exclusión por tamaño, color y/o forma utilizando luz visible.

De entre 400 a 750 nm de longitud de onda.

Pese a que el estudio de este proyecto está enfocado en la obtención de métodos para poder separar plásticos de forma precisa al menor coste posible y utilizando componentes de fácil acceso, se realiza el análisis presupuestario con valores aproximados del coste desglosado de los diferentes componentes.

Se ha de tener en cuenta que la base de datos puede estar orientada para formar personas que sin la necesidad de que estén cualificadas puedan proceder a separar los diferentes materiales plásticos.

Otra posible opción es la generación de base de datos informatizadas, el análisis será realizado mediante cámaras ópticas y procesado por computación. Como puede verse en la tabla 4.

Manualmente	Automáticamente
Método de análisis más lento.	Método de análisis más rápido.
Bajo coste.	Coste más elevado.
Se añaden variables humanas ante el factor de precisión.	Tan preciso como lo permitan las muestras, los emisores de luz y los sensores.

Tabla 4 Base de datos manual o automática.

5.2.1. Posible presupuesto.

Método Manual				
Concepto		Cantidad	Coste (€)	SUBTOTAL (€)
A1	Base de datos*	-	-	-
				-
				TOTAL

Tabla 5 Posible presupuesto para un proceso que utilice luz visible y una base de datos (aplicación manual).

Método Automático				
Concepto		Cantidad	Coste (€)	SUBTOTAL (€)
A1	Base de datos informatizada *	-	-	-
A2	Interficie*	-	-	-
A3	Procesador de información óptica*	-	-	-
B1	Sensores/cámaras ópticas	1	100	100
B2	Emisores de luz	2	15	30
B3	Otros Componentes Necesarios	-	200	200
				330
				TOTAL

Tabla 6 Posible presupuesto para un proceso que utilice luz visible y una base de datos automatizada.

A1; El componente imprescindible para realizar el prototipo consiste en la generación de una base de datos para poder realizar comparaciones precisas en función de los objetos plásticos que existan en el mercado: material, color, forma, características físicas, químicas. En buenas y malas condiciones térmicas, debido al paso del tiempo, en la interacción de productos químicos o ante inclemencias ambientales.

Huelga decir que cuanto más extensa y detallada sea la información de la base de datos, más precisa será la correcta separación de los residuos.

A2; Software que permita interactuar entre la información del prototipo y los usuarios.

A3; Procesador de información óptica capaz de filtrar y comparar la información obtenida de muestras con las referencias de la base de datos

B1; Cámaras de inspección/color/monocroma/volumen para recibir las ondas visibles rebotadas en los plásticos.

B2; Emisores de luz del espectro visible, bombillas de bajo consumo, emisores Led. Existe una gran gama de opciones en el mercado.

B3; Otros componentes necesarios como pueden ser filtros, espejos o detectores que ayuden en la medición.

* Los valores con asterisco si son realizados por uno mismo, el coste es difícil de valorar y clasificar, no obstante se podría extrapolar un pseudo presupuesto en función del coste de tiempo, esfuerzo y dedicación, coste económico de derechos de autor o derechos de información, entre otros aspectos a considerar.

5.3. Espectroscopia Infrarroja

Los procesos que se utilizan mayormente para analizar termoplásticos a través de espectroscopia infrarroja, son mediante el efecto de absorción, reflexión parcial o total. [35-40].

5.3.1. Radiación Infrarroja cercana

De entre 750 nm a 2,5 μ m de longitud de onda.

Al seleccionar los componentes, emisores y receptores de bajo coste y fácil acceso en el mercado para utilizar espectroscopia infrarroja, la precisión para identificar las diferentes muestras de termoplásticos se reduce exponencialmente.

Principalmente para espectroscopia infrarroja cercana, la cual utiliza métodos de reflexión, debido a que la interacción entre las ondas infrarrojas y los polímeros se encuentran en las capas superficiales de estos, las impurezas del material, los posibles colorantes y aditivos suponen unas variables que dificultan la correcta clasificación.

Una posible solución sería la implementación de emisores y/o sensores personalizados a las frecuencias de onda deseadas, no obstante, esta opción supone un aumento del coste.



Emisores de bajo coste		Emisores de alto coste	
Luz incoherente.		Luz coherente.	
Gran margen de longitudes de onda		Margen de longitudes de onda reducido.	
	Perfil de radiación del cuerpo negro.		Perfil Lorentziano.

Tabla 7 Emisores de bajo coste vs Emisores de alto coste.

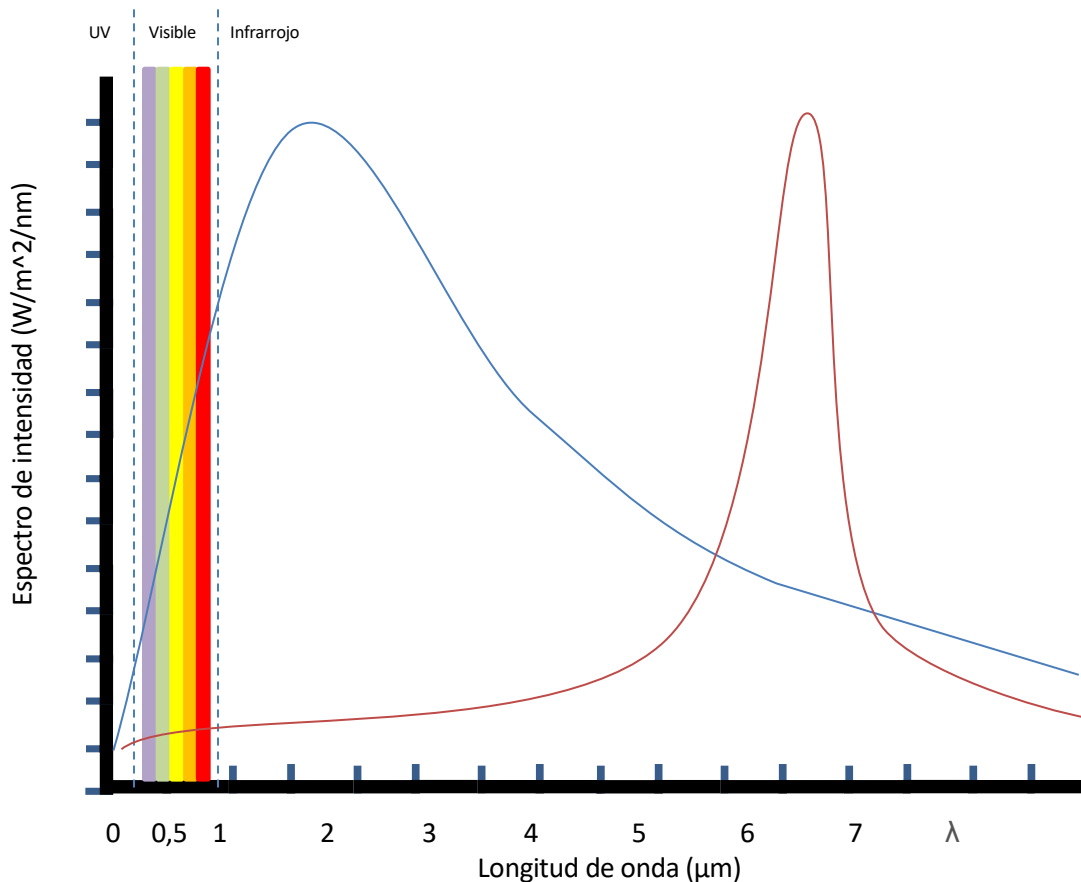


Figura 5 Representación de la emisión de energía de una fuente de luz de bajo coste como podría ser una bombilla halógena (a) grafica azul y un emisor de coste alto como podrá ser un láser infrarrojo (b) grafica roja, Fuente: Generado por el autor.

5.3.2. Radiación Infrarroja media

De entre 2,5 μm y 50 μm de longitud de onda.

La utilización de la radiación infrarroja, o espectroscopia infrarroja está ampliamente extendida en la industria, haciendo hincapié en la sección química, para el análisis de sustancias y componentes orgánicos e inorgánicos.

Por otro lado, el uso de espectroscopia infrarroja en el rango medio utiliza emisores halógenos de relativo bajo coste, como emisor principal. No obstante la discretización de la señal se obtiene gracias a que la señal es tratada previamente utilizando diferentes filtros

específicos que absorberán o reflejarán, permitiendo el paso de las longitudes de onda deseadas.

Los filtros son sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, es decir son materiales que interactúan interceptando la energía para que se bloqueen las no deseadas.

Debido a que son materiales específicos y requieren cierto tratamiento añadiendo a que no existe una amplia demanda la adquisición adquiere un valor significativo cuando se habla de coste.

Una posible solución sería la implementación adquirir filtros personalizados dentro del sector, lo cual sigue suponiendo un gran coste.

Una segunda solución sería utilizar otros materiales de bajo coste para que fungieran como sustituto de los filtros.

6. Prototipo low-cost para separar termoplásticos utilizando ondas electromagnéticas infrarrojas

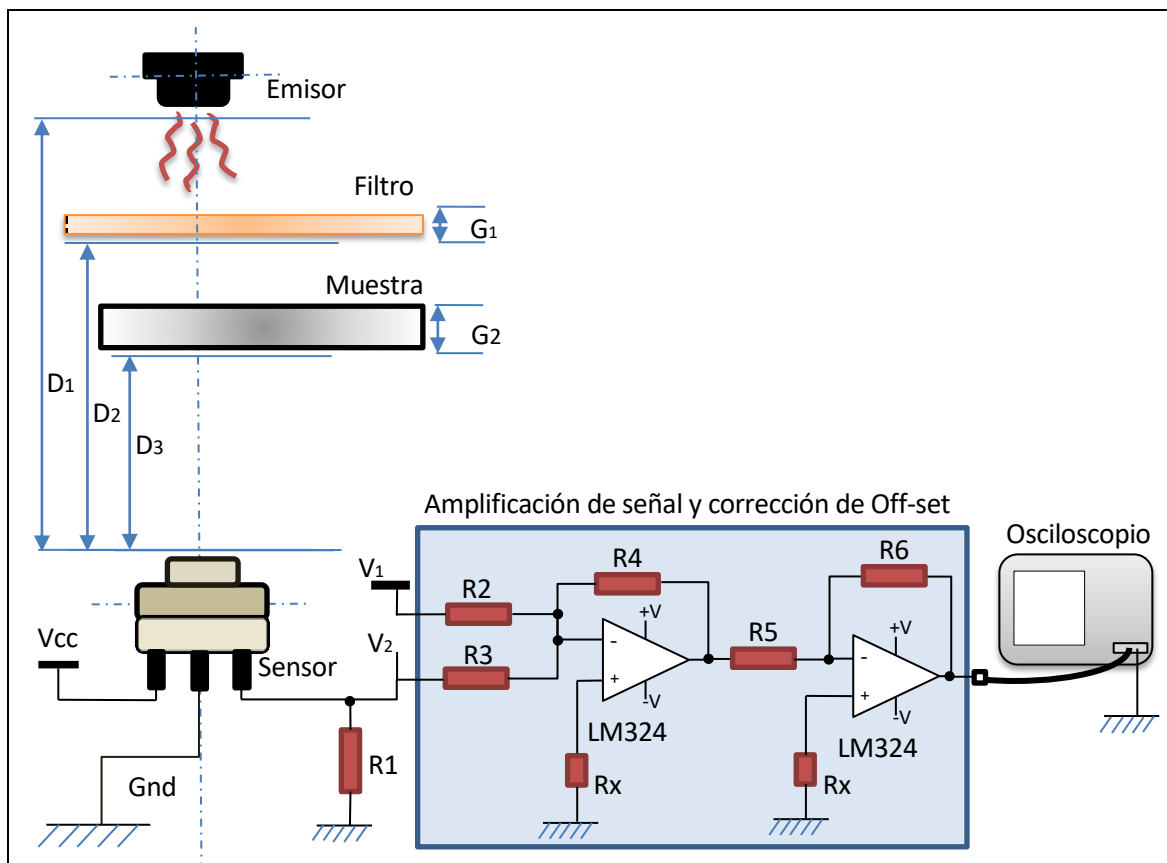


Figura 6 Vista Alzada o de Perfil del prototipo.

Fuente: Generado por el autor.

Componentes			
Nombre	Descripción		
Emisor	Emisor de ondas infrarrojas, (lámpara de escritorio con bombilla halógena).		
Sensor	Sensor Infrarrojo PIR D203S		
Filtro	Componente utilizado para absorber ciertas frecuencias emitidas por el Emisor.		
Operacional	LM324		
Distancias y Grosor Relevantes.			
Nombre	Descripción		
D1	Distancia entre el Emisor y el Sensor Infrarrojo.		
D2	Distancia entre el Filtro y el Sensor Infrarrojo.		
D3	Distancia entre el Filtro y la Muestra.		
G1	Grosor del Filtro.		
G2	Grosor de la Muestra.		
Fuentes de Tensión			
Nombre	Descripción	Tensión (V)	
		Mínimo	Máximo
Vcc	Tensión óptima para el Sensor Pir.	0	5
V1	Tensión para regular el Off-Set.	0	-
V2	Tensión de salida de la señal.	0	3
+V	Tensión Máxima para la señal de salida.	0	15
-V	Tensión Mínima para la señal de salida.	0	15

Tabla 8 Elementos del prototipo.

Resistencias	
Nombre	Unidades (k Ω)
R1	50
R2=R3=R4=R5	10
R6	100
Rx	1

Tabla 9 Valor de las resistencias.

6.1. Metodología

Parámetros a tener en consideración:

- Para realizar el prototipo se requieren filtros especializados pero debido al alto coste se ha optado por utilizar otros materiales conocidos, de bajo coste económico y de fácil acceso como sustitutos.
 - Se ha partido como propuesta el uso de los propios plásticos termoplásticos que se quieren analizar como filtro para analizar otras muestras desconocidas.
- La distancia entre el emisor y el sensor, la distancia entre el filtro y el sensor y la distancia entre la muestra y el sensor, así como los grosores del filtro y de la muestra a analizar son relevantes y por ello se debe realizar cada medición con posiciones constantes para evitar dar falsas mediciones.
 - En el caso de las pruebas realizadas las distancias no superaban los diez centímetros entre emisor y sensor.
- El posible ruido exterior puede llegar a ser significativo y puede causar interferencias para la correcta medición de la señal. Debido a que lo que se está analizando son ondas infrarrojas, todo cuerpo cuya temperatura sea mayor que 0 Kelvin, es decir, -273,15 grados Celsius (cero absoluto) emite radiación a esas frecuencias y por ello se debe tener un conocimiento y un control de a que temperatura están todos los componentes del sistema para no inducir a error.
 - La señal del sensor inicialmente ofrecía valores de entre cero y medio voltio, el incremento o decremento de la señal, no era apreciable, debido al ruido (temperatura de ambiente), para solucionarlo se ha implementado el amplificador y el regulador de offset.
 - En el caso de las pruebas realizadas con el prototipo, el voltaje de offset necesario para unas distancias inferiores a los diez centímetros entre sensor y emisor han sido de aproximadamente medio voltio y la ganancia para amplificar la señal ha sido de diez.

- Cualquier material que absorba energía con el tiempo suficiente se puede volver emisor.
- Además como el tiempo de lectura que necesita el sensor es del valor de uno o dos hercios, no se ha de dejar ni el filtro ni la muestra entre el emisor y el sensor.
 - Por ello, para realizar cada medición se ha de interponer el conjunto del filtro y la muestra que se desee analizar entre el emisor y el receptor y después de varios segundos cuando se aprecie que la señal se estabiliza retirar los.
- Otro parámetro destacable ha sido la sensibilidad ambiental del sensor infrarrojo, las corrientes de aire cerca del sensor pueden inducir a incorrectas mediciones.

Realizando este prototipo se ha podido observar que existen diferencias cuando se hace la medición con diferentes combinaciones de filtros conocidos y muestras desconocidas y que por lo tanto es viable.

Con este método se podría ir deduciendo el comportamiento que muestran diferentes materiales conocidos y comparar sus tendencias cuando se superponen con las muestras que se deseen analizar.

7. Planificación

En este apartado se muestra una tabla de planificación donde se expresan todas tareas realizadas a lo largo de este estudio así como su duración que han tenido lugar desde el comienzo hasta la entrega de la memoria.

Además para visualizar mejor la planificación del proyecto se ha creado un diagrama de Gantt a partir de la tabla 10.

		Fecha de inicio del estudio.		
		28/02/2019	Inscripción del TFG.	
		Fecha final del estudio.		
		10/06/2019	Entrega de la Memoria	
Nº	Descripción	Fecha de Inicio	Duración (Días)	Fecha de finalización
1	Identificación y descripción de los objetivos del proyecto.	01-mar	2	03-mar
2	Primeras recercas de sondeo comprobar la viabilidad.	03-mar	10	13-mar
3	Estado del arte.	14-mar	87	09-jun
	Generación de un prototipo utilizando infrarrojos			
4	Propuestas / lluvia de ideas.	05-may	10	15-may
5	Diseño del prototipo.	15-may	9	24-may
6	Creación del prototipo.	24-may	12	05-jun
7	Calibración/Pruebas.	06-jun	4	10-jun

Tabla 10 Tabla de planificación.

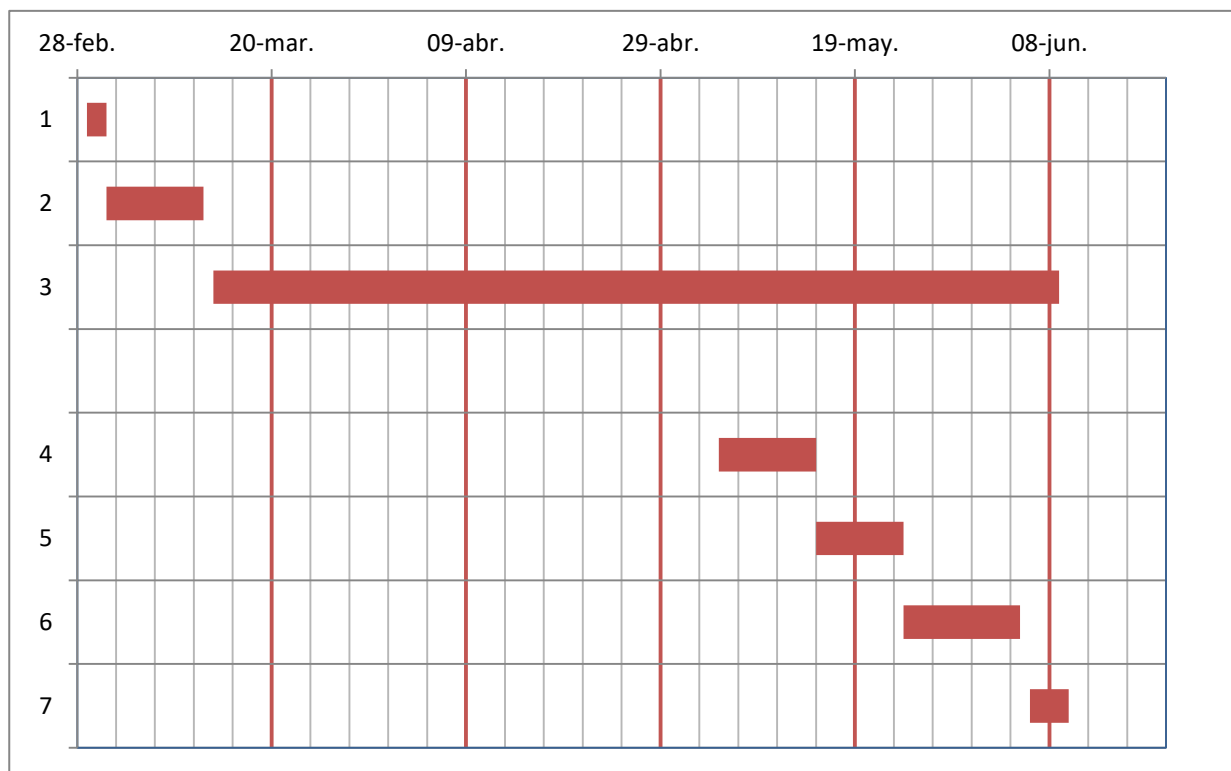


Figura 7 Diagrama de Gantt

8. Presupuesto

Presupuesto del Prototipo				
Concepto		Cantidad	Coste (€)	SUBTOTAL (€)
A1	Sensor PIR D203S	1	0,30	0,30
A2	Operacional LM324	1	0,39	0,39
A3	Lámpara de escritorio / Bombilla Halógena	1	9,9	9,9
A4	Resistencias	8	0,2	1,6
B1	Gastos*	-	15	15
B2	Otros Componentes Necesarios*	-	-	-
				27,19
				TOTAL

Tabla 11 Presupuesto del prototipo.

A1; El componente imprescindible para realizar el prototipo. Su rango de acción se encuentra a frecuencias de entre cinco micrómetros y catorce micrómetros. Son producidos a gran escala debido a la alta demanda. Se utilizan para detección de presencia infrarrojos.

A2; Operacional LM324.

A3; Bombilla halógena de doscientos treinta voltios.

A4; Resistencias de película de Carbono.

B1; Gastos de envío de los componentes.

B2; Otros componentes utilizados generador, cables, osciloscopio.

9. Conclusiones

La conclusión recae en que no existe un único método para entender y diferenciar los plásticos (termoplásticos) en función de sus propiedades cuando interactúan con las ondas electromagnéticas. Un posible método podría ser el de generar bases de datos actualizada con todos los productos plásticos del mercado o utilizando cámaras de video o infrarrojo cercano. Sin embargo, si se prioriza el coste y la accesibilidad para conseguir los diferentes componentes (emisores y sensores) así como su eficiencia, un buen método sería el de la utilización de ondas de radiación infrarrojas medias por absorción.

El presente trabajo deja registrado que con un presupuesto reducido es posible diferenciar componentes plásticos termoplásticos utilizando la radiación infrarroja de una bombilla halógena y los propios plásticos como filtro. Sin embargo, no hay que olvidar que es necesario realizar más estudios y pruebas para determinar el sistema ideal.

10. Bibliografía

- [1] Braun D. *Métodos sencillos de identificación de plásticos* (2ª edición) Hanser Editorial, S.L., Barcelona 1992.
- [2] Chacón, M., Pacheco, A., Cendejas, M. & Ortega, F.. *Tendencia del crecimiento en la cultura del reciclaje*. Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales, 2016 p.63-72.
- [3] G.G. Pérez-Sánchez, J.A. Álvarez Chávez, J.R. Pérez-Torres , A. Gómez-Vieyra, *PET and PVC Separation System Based on Optical Sensors, Infrared Sensors, Devices, and Applications V*.
- [4] Parpec [Online]. Available: <https://www.paprec.com/en/understanding-recycling/recycling-plastic/sorting-plastic-waste>
- [5] Ashley, Steven New Technology for Recycling Plastics. Mechanical Engineering. 1995.
- [6] Alves, M. O., & Block, J. M. Envases de polietileno tereftalato(PET), 2005
- [7] Ambientum [Online]. Available: <https://www.ambientum.com/ambientum/residuos/contaminacion-plastico.asp> [Accessed: 05-04-19]
- [8] Marine Pollution and Human Health [Online]. Available: https://books.google.es/books?id=TCfyfIDymd8C&pg=PA84&redir_esc=y#v=onepage&q&f=falsehttps://books.google.es/books?id=TCfyfIDymd8C&pg=PA84&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false p. 84-88
- [9] Tachwali, Y., Al-Assaf, Y., & Al-Ali, A. R., “Automatic Multistage Classification System for Plastic Bottles Recycling”, in Resources, Conservation and Recycling, pp. 266-285,
- [10] [Online]. Available: American Plastic Council. “Best Practices in PET Recycling, Automated Sorting System” [Accessed: 08-04-19]
- [11] 20 minutos. “Así es el reciclaje de envases paso a paso” .” [Online]. Available <https://www.20minutos.es/noticia/3294020/0/espana-reciclaje-plasticos-envases-por-encima-media-europea/#xtor=AD-15&xts=467263> [Accessed: 19-04-19].
- [12] [Online]. Available: Conasi [Online]. Available: <https://www.conasi.eu/blog/consejos-de-salud/consejos-de-salud-consejos-de-salud/plasticos-reciclables-biodegradables/>[Accessed: 25-04-19]
- [13] Ecoticias “Reciclado de Plásticos” [Online]. Available: <https://www.ecoticias.com/residuos-reciclaje/21178/Reciclado-de-Plasticos-Como-se-Reciclan> [Accessed: 24-04-19].

- [14] Ecoembes “Plantas de selección” [Online]. Available <https://www.ecoembes.com/es/administraciones/plantas-de-seleccion> [Accessed: 19-04-19].
- [15] La Red- “Reciclados Plásticos.” [Online]. Available: <http://www.recicladoslared.es/proceso-de-reciclaje-de-plasticos/> [Accessed: 19-04-19].
- [16] Relevocontigo [Online]. Available <https://www.relevocontigo.com/reciclaje-que-va-en-cada-contenedor/>[Accessed: 19-04-19].
- [17] RubiLiIngenieros [Online]. Available <http://www.rubalingenieros.com/blog/index.php/curiosidades/reciclaje-de-envases-el-contenedor-amarillo/>[Accessed: 20-04-19].
- [18] Gnauck B./Fründt P. Iniciación a la química de los plásticos Hanser Editorial, S.L., Barcelona 1992
- [19] Hellerich W./Harsch G. Haenle Guía de materiales plásticos Propiedades, ensayos, parámetros Hanser Editorial, S.L., Barcelona 1992.
- [20] PlasticsEurope, “¿Qué es el plástico?” [Online]. Available: <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics> [Accessed: 21-03-19].
- [21] Michael/Greif/kaufmann/Vossebürger “Introducción a la tecnología de los plásticos” Segunda edición, p. 20-40 , 68-97.
- [22] Mexpolimeros [Online]. Available: <https://www.mexpolimeros.com/tabla%20pol%C3%ADmeros%20transparentes.html> [Accessed: 23-05-19].
- [23] Guía de buenas prácticas para el reciclaje de los residuos plásticos, una guía por y para las autoridades locales y regionales [Online]. Available: <http://www.comunidadism.es/wp-content/uploads/downloads/2011/08/reciclaje-plasticos.pdf> [Accessed: 07-04-19].
- [24] Wikipedia [Online]. Available https://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_electromagn%C3%A9tica [Accessed: 23-5-19]
- [25] Ecured [Online]. Available: https://www.ecured.cu/Ley_de_Planck[Accessed: 3-06-19]
- [26] Química La Guía [Online]. Available: <https://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/transmitancia-y-absorbancia> [Accessed: 04-05-19]
- [27] Hyperphysics [Online]. Available <http://hyperphysics.phyastr.gsu.edu/hbasees/hph.html> [Accessed: 13-05-19].
- [28] citcea La Luz. [Online]. Available: https://recursos.citcea.upc.edu/llum/luz_vision/luz.html [Accessed: 12-05-19]

- [29] Mercola Utilización de plasticos en Microondas [Online]. Available: <https://articulos.mercola.com/sitios/articulos/archivo/2015/07/23/utilizar-plastico-en-microondas.aspx> [Accessed: 12-05-19]
- [30] Plástico [Online]. Available: <http://www.plastico.com/temas/Como-funcionan-los-aditivos-anti-UV+3034433> [Accessed: 10-05-19]
- [31] [Online]. Available: <https://es.scribd.com/document/381263237/Capitulo-III-Introduccion-a-La-Espectroscopia-y-Espectroscopia-Molecular-Uv-Vis-ir> [Accessed: 9-04-19]
- [32] Los veni, vidi, vinci [Online]. Available: https://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria24/feria070_01_area_del_espectro_de_absorcion_para_medir_la_degra.pdf [Accessed: 06-04-19]
- [33] Safavi, S. M., Masoumi, H., Mirian, S. S., & Tabrizchi, M, "Sorting of Polypropylene Resins by Color in MSW using Visible Reflectance Spectroscopy" , in Waste management, pp. 2216-2222,
- [34] [Online]. Available: Ignatyev, I. A., Thielemans, W. y Vander Beke, B. (2014). Recycling of polymers: A review. ChemSusChem, p. 1579-1593
- [35] Scott, D. M. 1995. A Two-Colour Near-Infrared Sensor for Sorting Recycled Plastic Waste. Measurement Science and Technology.
- [36] Infrared Spectroscopy[Online]. Available: https://www.perkinelmer.com/lab-solutions/resources/docs/APP_PolymerIdentificationMidInfraredSpectroscopy.pdf [Accessed: 22-04-19]
- [37] Daniels, W. & Kitson, R. (1958). Infrared spectroscopy of polyethylene terephthalate. Polymer Chemistry, p.161-170
- [38] Hamed Masoumi, Sayed Mohsen Safavi, and Zahra Khani (2012). Identification and Classification of Plastic Resins using Near Infrared Reflectance Spectroscopy, World Academy of Science, Engineering and Technology.
- [39] Academia [Online]. Available https://www.academias.edu/24746385/Espectrofot%C3%B3metro_de_infrarrojo [Accessed: 21-05-19]
- [40] [Online]. Available Coghlan, Andy 1993. Infrared Makes Light Work of Sorting Plastics. New Scientist, v139 n1882, [Accessed: 21-05-19].

10.1. Bibliografía complementaria y otras fuentes de información de interés

- [41] Quo [Online]. Available: <https://www.quo.es/ciencia/a42578/la-fisica-cuantica-para-entenderla-por-fin/>
- [42] Haferkamp, H., I. Burmester, and K. Engel 1993. her-aided Material Identification for the Waste Sorting Process. Proceedings of SPIE (The Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers), v2092 ,328-333.
- [43] Pongstabodee, S.; Kunachitpimol, N.; Damronglerd, S. Combination of three-stage sink–float method and selective flotation technique for separation of mixed post-consumer plastic waste. Waste Manag. 2008, 28, 475–483.
- [44] [Online]. Available:
http://csn.ciemat.es/MDCSN/recursos/ficheros_md/626164653_2411200913139.pdf
- [45] Mssoptical [Online]. Available: <http://www.mssoptical.com/>
- [46] Espectroscopia vibracional [Online]. Available:
http://www3.uah.es/edejesus/resumenes/DECI/tema_2.pdf
- [47] Quiored Espectroscopia infrarroja[Online]. Available:
<https://www.ugr.es/~quiorred/espec/ir.htm>
- [48] RecycledPlastic [Online]. Available: <http://www.recycledplastic.com>
- [49] Alpha polymers LTD [Online]. Available: <http://www.alpha-polymers.com>
- [50] [Online]. Available: http://www.acrplus.org/images/technical-reports/ACR2004_GoodPractices-on-Waste-plastics-recycling_ES.pdf
- [51] Tecnología de polímeros - M. Beltrán y A. Marcilla
- [52] Makromolekulare Chemie - M. D. Lechner, K. Gehrke y E. H. Nordmeier
- [53] Introduction to physical polymer science - L. H. Sperling
- [54] Imagine [Online]. Available:
<https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/emspectrum2.html>
- [55] Introduction to Infrared Pir Detectors [Online]. Available:.
https://www.aldebaran.cz/bulletin/2015_40/ELTECdata100.pdf

- [56] [Online]. Available:
http://www.datacentir.com/downloads/files/10_Things_You_Need_to_Know_About_Infrared_Windows.pdf
- [57] Eltec [Online]. Available: https://www.aldebaran.cz/bulletin/2015_40/ELTECdata100.pdf
- [58] Characteristics and use of infrared detectors [Online]. Available:
https://www.hamamatsu.com/resources/pdf/ssd/infrared_kird9001e.pdf

11. Anexos

Anexo A .-Datasheet de los diferentes Componentes

Anexo B .-Autoinforme

Anexo C .-Declaración de Honor

Anexo A

Datasheet



SENSOR MANUAL

Pyroelectric Infrared Radial Sensor

Model:D203S

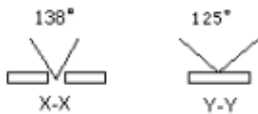
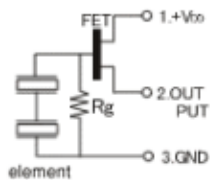
PIR SENSOR CO., LTD

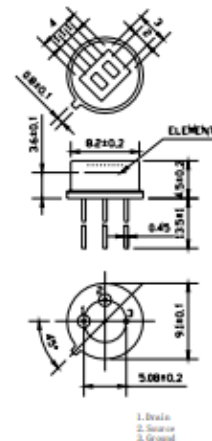


General-Purpose Dual Element Pyroelectric Infrared Radial Sensor

The pyroelectric infrared sensor detects infrared radiation on the basis of the characteristics that the polarization of pyroelectric material changes with temperature. Dual compensated sensing elements are applied to suppress the interference resulting from temperature variation. As a result, the operating stability of the sensor is greatly improved. Our products can be used in many applications. Such as in security systems, burglar alarms, visitor acknowledgement, light switch control and intellectualized toy, etc.

Standard Specifications and Dimensions

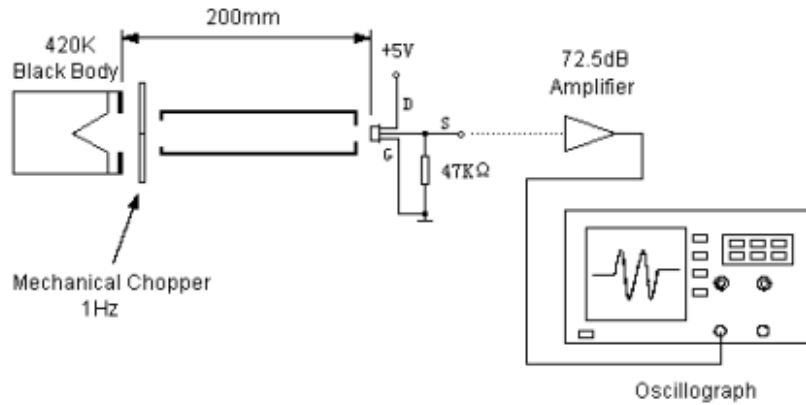
Recommended Model	D203S
Encapsulation Type	TO-5
IR Receiving Electrode	2×1mm, 2 elements
Window Size	4×3mm
Spectral Response	5-14μm
Transmittance	≥75%
Signal Output [Vp-p]	≥3500mV
Sensitivity	≥3300V/W
Detectivity (D*)	≥1.4 × 10 ⁸ cmHz ^{1/2} /W
Noise[Vp-p]	<70mV
Output Balance	<10%
Offset Voltage	0.3-1.2V
Supply Voltage	3-15V
Operating Temp.	-30-70°C
Storage Temp.	-40-80°C
Field of View Equivalent Circuit	
Equivalent Circuit	





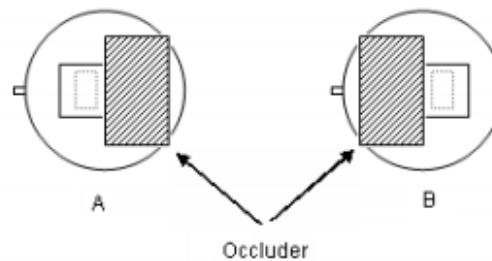
SENSOR MANUAL

■ Test Method



Test conditions

- ◆ Ambient temperature 25°C
- ◆ Black-body temperature 420K(147°C)
- ◆ Modulating frequency 1 Hz, 0.3-3.5Hz Δf ,
- ◆ 72.5 dB Amplifier



The sensitivity balance of dual element sensor is calculated through testing the sensitivity (single signal output voltage) of each element and using the following formula:

$$\text{Balance} = |V_A - V_B| / (V_A + V_B) \times 100\%$$

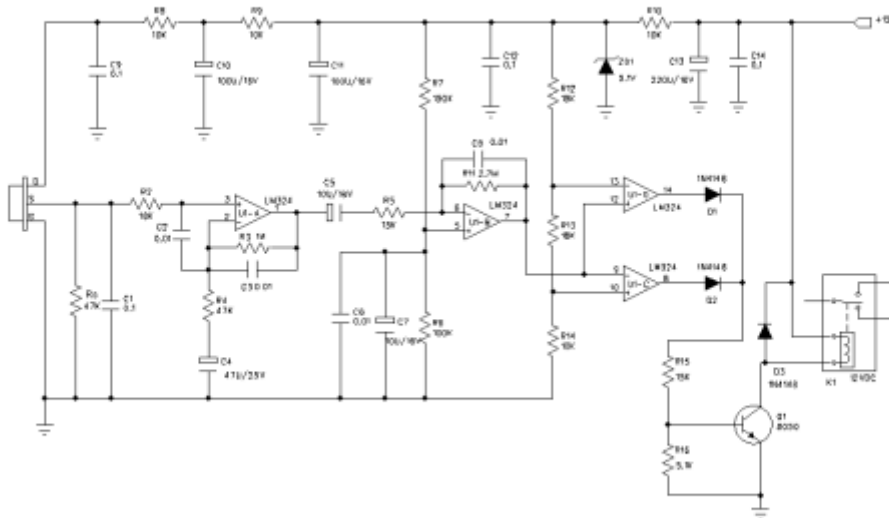
V_A = Sensitivity of side A (mVp-p)

V_B = Sensitivity of side B (mVp-p)



SENSOR MANUAL

Typical Application



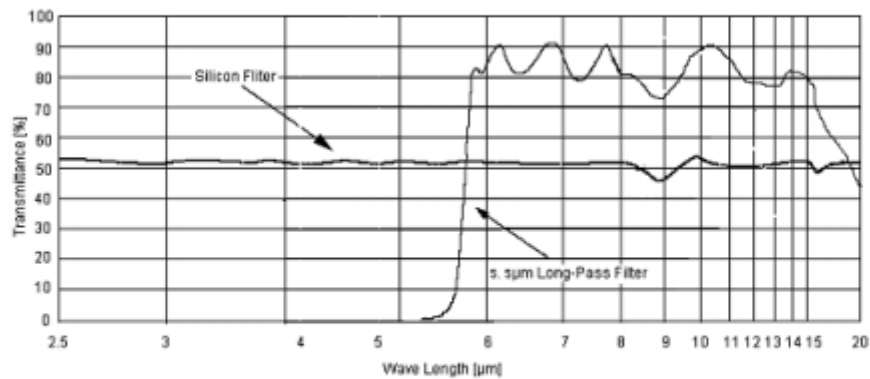
Notice:

U1A-D:LM324

Vdd:12V DC

Rs=47KΩ @ on an offset voltage

Spectral Response of Window Materials



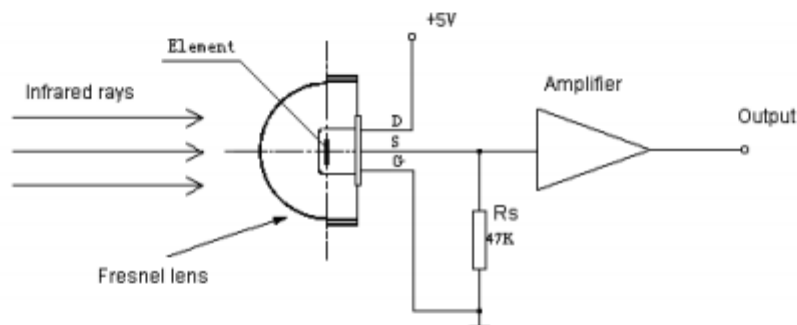
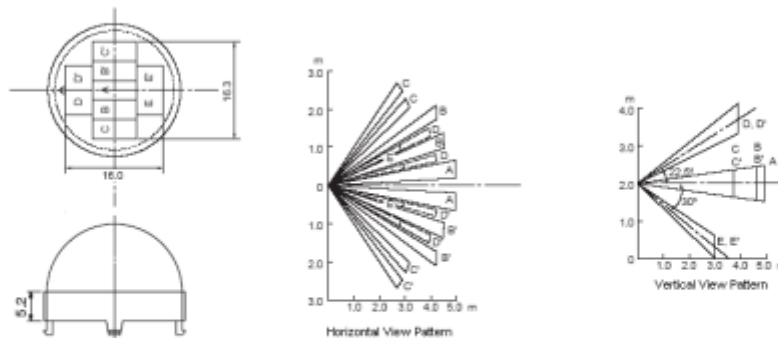
Notice:

The above curve is the typical figure of 5.5 μm pass IR filter, the curve is the average value of IR transmittance, the window's substrate is vacuum-coated with semiconductor material.




SENSOR MANUAL

■ Fresnel Lens for Human Body Detection



■ Directions for Use

- Pay attention to the mounting direction of the sensor's element and the size of element ichnography. Combining with focus of Fresnel lens can achieve a optimal optics design.
- The ex-factory parameter of sensor is gained by testing in the condition of standard Black Body and the relevant circuit after one minute steadying-time.
- The detecting distance of sensor is a multidimensional function, consisting of ambient temperature, temperature of moving target , target distance of Fresnel Lens', ambient humidity , amplifier gain and comparison voltage.
- The welding shall be made at 4mm above as per the recommendation for lead wire of sensor seat, and the welding should be completed in the shortest possible time.
- Do not touch the window by hand and the hard things directly.
- Strong shake and static should be avoided.
- This products are packed with the environmental protection material ,and the sensors' surface has been covered specially with OHK anti-erode material, 100pcs per small package ,3000pcs per large package.



FCS Semiconductor


LM324 Quad Differential Input Operational Amplifier

FEATURES


- 1 Short circuit protected outputs
- 1 3 to 32 V Supply
- 1 Low input bias current
- 1 True differential input stage
- 1 Four devices in a single package
- 1 Industry standard pin layout
- 1 Internally compensated

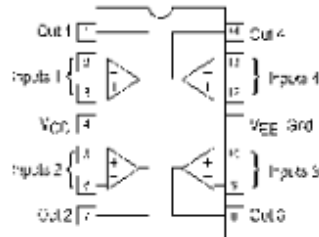
PIN ARRANGEMENT

14 DIP LM324



14 SOP LM324S





ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Item	Symbol	Rating	Unit
Power Supply Voltage	V_{CC}	+32 or ± 16	V
Input Differential Voltage Range	V_{IDR}	± 32	V
Input Common Mode Voltage Range	V_{ICR}	-0.3 to +32	V
Output Short Circuit-to-Ground	I_{SC}	Continuous	mA
Operating Ambient Temperature Range	T_A	0 to 70	$^{\circ}\text{C}$
Operating Junction Temperature	T_J	150	$^{\circ}\text{C}$
Storage Temperature Range	T_S	-65 to 150	$^{\circ}\text{C}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_{CC} = 5.0\text{V}$, $V_{in} = \text{GND}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ (unless otherwise noted)

Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Input Offset Voltage	V_{IO}	---	2.0	7.0	mV
$0.0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 70^{\circ}\text{C}$		---	---	9.0	
Avg. Temp. Coeff. of Input Offset Voltage ΔV	$IO/\Delta T$	---	7.0	---	$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
$0.0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 70^{\circ}\text{C}$		---	---	---	
Input Offset Current	I_{IO}	---	5.0	50	nA
$0.0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 70^{\circ}\text{C}$		---	---	150	
Avg. Temp. Coeff. of Input Offset Current ΔI	$IO/\Delta T$	---	10	---	$\text{pA}/^{\circ}\text{C}$
$0.0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 70^{\circ}\text{C}$		---	---	---	
Input Bias Current	I_{in}	---	90	250	nA
$0.0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 70^{\circ}\text{C}$		---	---	500	
Input Common Mode Voltage Range (1)	V_{ICR}	0	---	$V_{CC} - 1.7$	V
$0.0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 70^{\circ}\text{C}$		0	---	$V_{CC} - 2.0$	
Differential Input Voltage Range	V_{IDR}	---	---	V_{CC}	V